

Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica

Noa Ageitos ^{1,a}, Blanca Puig ^{1,b}, Xusto Calvo-Peña ^{2,c}

¹ Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidad de Santiago de Compostela, España.

² IES Laxeiro, Lalín (Pontevedra), España.

^anoa.ageitos@usc.es, ^bblanca.puig@usc.es, ^cxustocalvo@edu.xunta.es

[Recibido en marzo de 2016, aceptado en julio de 2016]

Se presenta el diseño de una unidad didáctica para secundaria que tiene como objetivo principal el aprendizaje de genética y enfermedades humanas en interacción con el desempeño de prácticas científicas de argumentación y modelización. La secuencia aborda diversas enfermedades con componente genético que requieren la transferencia del modelo de expresión de los genes para su adecuada comprensión. La secuencia pretende servir como recurso al profesorado de ciencias interesado en introducir las prácticas científicas y el pensamiento crítico para promover la toma de decisiones. Se presentan algunos resultados relevantes de la puesta en práctica de la secuencia para su implementación efectiva por el profesorado.

Palabras clave: argumentación; modelización; enseñanza de genética; unidad didáctica; enfermedades.

Addressing genetics and diseases in secondary education integrating modelling and argumentation

We present the design of a teaching sequence for secondary education, which has as primary goal learning genetics and human diseases in interaction with the practices of modelling and argumentation. The unit addresses different diseases with genetic component that present different level of complexity and require the application of the model of gene expression for its appropriate understanding. We propose resource for science teachers who are interested in the introduction of scientific practices and critical thinking for decision-making. Relevant results for teachers' effective implementation of the unit are presented.

Keywords: argumentation; modelling; genetics instruction; teaching sequence; diseases.

Para citar este artículo: Ageitos N., Puig B., Calvo Peña X. (2017) Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (1), 86-97. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18848>

Introducción

La genética se ha caracterizado por sus continuos avances en los últimos años. Una de las figuras más reconocidas internacionalmente en investigación en genética clínica y forense, A. Carracedo, con profusa dedicación a la divulgación científica en centros educativos de todo el mundo, señalaba en una de sus ponencias que los nuevos avances en el campo de la genética deberían conllevar cambios curriculares en las disciplinas biomédicas (Carracedo 2012). Esta misma preocupación debería trasladarse al ámbito de la educación científica en secundaria. Nuestro actual marco curricular precisa adecuarse a la realidad en la que vivimos, primando, entre otras cuestiones, una formación que capacite al alumnado en la toma de decisiones crítica y razonada sobre temas de salud en los que la genética tiene un papel relevante.

Este artículo presenta el diseño de una propuesta didáctica para trabajar enfermedades con componente genético. Las enfermedades que se abordan presentan distinto nivel de complejidad y son comunes hoy en día. Pretendemos proporcionar un recurso didáctico al profesorado interesado en introducir un enfoque que posibilite la comprensión de genética y enfermedades en interacción con el desempeño de prácticas científicas. La secuencia

promueve el desarrollo de pensamiento crítico para la toma de decisiones sobre la prevención y diagnóstico de diversas patologías.

¿Por qué es importante integrar las prácticas científicas en la enseñanza y el aprendizaje de genética?

El aprendizaje de ciencias mediante la participación del alumnado en prácticas científicas es un enfoque que está ganando impulso en la comunidad educativa (National Research Council, NRC 2012). Existe consenso dentro de la investigación en didáctica de ciencias acerca de la importancia de una enseñanza centrada en los procesos, en lugar de en los productos de la ciencia (Duschl y Grandy 2008). Entre los beneficios de usar este enfoque, destacaríamos el hecho de permitir dar una visión coherente con el funcionamiento de la ciencia y con la forma en la que se construye el conocimiento científico. Además, permite al alumnado una enculturación con las formas de trabajar en la comunidad científica, dando una imagen de ciencia dinámica en la que las prácticas científicas constituyen el eje vertebrador en torno al que se generan nuevas teorías.

Al hablar de prácticas científicas nos referimos a: a) *la indagación*, que implica el diseño y la puesta en práctica de experimentos y el análisis de datos obtenidos; b) *la modelización*, que conlleva explicar fenómenos naturales por medio de modelos; c) *la argumentación*, que implica evaluar el conocimiento en base a las pruebas. Existe una relación entre estos tres cuerpos, que forman parte de las prácticas científicas, y los procesos de desarrollo de competencias científicas de PISA por el alumnado (Jiménez-Aleixandre 2012). En el marco curricular de secundaria existe un bloque denominado Proyecto Científico, entre cuyas finalidades destacamos el desempeño de prácticas como la argumentación. Existe un apartado, el B4.1, que menciona explícitamente la argumentación a partir de la experimentación u observación.

La genética es uno de los campos de la biología de mayor dificultad para el alumnado (Todd y Kenyon 2015). La literatura agrupa estas dificultades en cinco dominios: 1) el vocabulario y la terminología específica; 2) el contenido matemático de las tareas de genética mendeliana; 3) los procesos citológicos; 4) la naturaleza abstracta de la genética y la manera de abordarse en el currículum, 5) su complejidad, que implica procesos a nivel macro y micro.

Dadas estas dificultades y siguiendo a Venville y Dawson (2010), proponemos la modelización como vía para mejorar la comprensión de mecanismos y procesos que no son visibles y que tienen lugar en distintos niveles moleculares. Un ejemplo, es el modelo de expresión de los genes, resultado de la interacción entre genes y factores ambientales (Lewontin, Rose y Kamin 2003), y que abordamos en nuestra propuesta didáctica. Diseñamos una secuencia que pretende favorecer la comprensión de diversas enfermedades humanas con componente genético en articulación con las prácticas científicas.

¿Cómo se contemplan las enfermedades genéticas en el marco curricular y en los textos de ciencias?

Las enfermedades humanas presentan una gran complejidad y son consecuencia tanto de factores genéticos como ambientales (Chavakarti y Little 2003). Su tratamiento en el aula requiere atender a estos dos componentes y a la comprensión del modelo de expresión de los genes.

Un estudio sobre el tratamiento del modelo de expresión de los genes en los libros de texto de ciencias de secundaria muestra una escasez de tareas y ejemplos que faciliten su comprensión (Puig y Jiménez Aleixandre 2015). Es necesario diseñar tareas para mejorar el aprendizaje del modelo de expresión de los genes.

En el currículo de secundaria (MEC 2014), la genética se introduce por primera vez en 4º de ESO, por lo que sólo el alumnado que decida cursar ciencias podrá formarse en esta área. En 4º de ESO, existe un contenido específico sobre «enfermedades hereditarias más frecuentes y su alcance social» dentro de la materia de Biología y geología y en 1º de Bachillerato, dentro de la materia de Cultura Científica, hay un bloque sobre revolución genética que trata avances genéticos como la secuenciación del genoma humano. Además, se menciona la identificación de algunos problemas y dilemas éticos relacionados con la aplicación de la genética, relevantes en nuestra secuencia.

Diseño de la secuencia didáctica, participantes y puesta en práctica

Se trata de un diseño basado en la investigación que utiliza un enfoque constructivista de aprendizaje de ciencias mediante la participación en prácticas científicas (OECD 2013). La unidad está dirigida a 4º ESO, nivel en el que se trabajan contenidos de genética molecular, necesarios para resolver las tareas de la secuencia. De todos modos, el docente podría desarrollar la secuencia en niveles superiores.

Los objetivos de la secuencia (figura 1) incluyen los científicos o disciplinares y los relacionados con una ciudadanía crítica.

Objetivos de la unidad “Genética y enfermedades”
<i>Objetivos disciplinares:</i>
a) Explicar enfermedades con componente genético utilizando el modelo de expresión de los genes.
b) Desarrollar las prácticas de modelización y argumentación en distintos contextos relacionados con enfermedades con componente genético.
<i>Objetivos para promover una ciudadanía crítica:</i>
c) Desarrollar capacidad crítica para la toma de decisiones razonada sobre el diagnóstico de enfermedades genéticas.

Figura 1. Objetivos de la unidad didáctica «Genética y enfermedades».

En el diseño participaron los dos docentes de Biología y Geología involucrados en la investigación. Además, un experto internacional en genética clínica fue consultado para verificar los datos sobre las enfermedades y su idoneidad. La figura 2 resume los pasos en el diseño de la secuencia. Las tareas han sido refinadas en base a diversas discusiones mantenidas con expertos en didáctica y a los resultados del pre-test.

Los participantes son un aula de 20 estudiantes de 4º de ESO de un centro del interior de Galicia. Todas las actividades, excepto el pre-test y la actividad de evaluación final, fueron realizadas en grupos de cuatro.

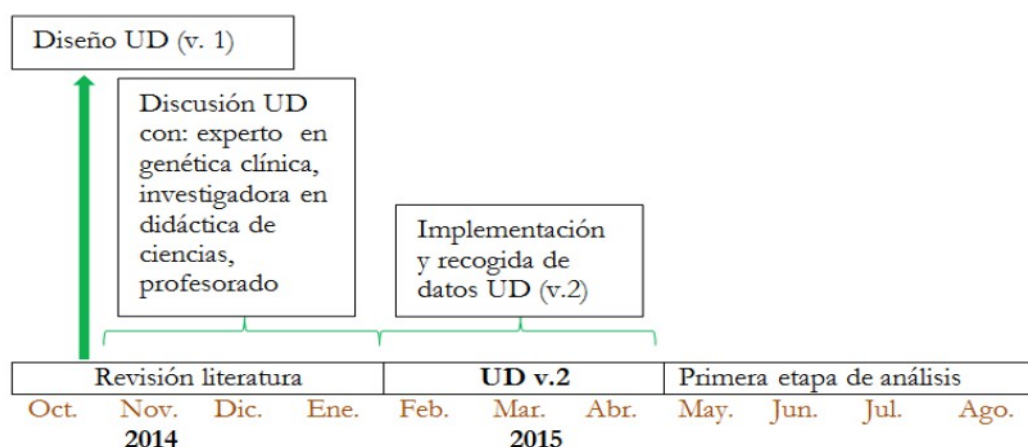


Figura 2. Fases en el diseño de la unidad didáctica en una escala temporal.

El pre-test ([Anexo 1](#)) tiene como finalidad identificar las ideas previas sobre modelos y enfermedades, y la actividad de evaluación final pretende comprobar si el alumnado aplica de manera adecuada el modelo de expresión de los genes. La tabla 1 resume las actividades.

Sesión	Actividades	Objetivos didácticos	Prácticas científicas
	Pre-test	-Expresar ideas sobre los modelos en ciencias y las enfermedades genéticas	—
1-2	1. Modelizar la expresión de los genes	-Construir el modelo de expresión de los genes para explicar la anemia falciforme	Modelización, argumentación
3-4	2. Muerte súbita, ¿cómo prevenirla?	- Practicar técnicas de RCP - Elaborar un tríptico con datos seleccionados sobre causas de la muerte súbita y forma de prevenirla - Relacionar el modelo de expresión con esta enfermedad	Uso de pruebas y modelización (transferencia del modelo)
5	3. El efecto Jolie	- Analizar datos sobre el cáncer de mama - Valorar distintos casos susceptibles de padecer cáncer de mama y asesorar sobre la realización de pruebas genéticas - Tomar decisiones para realizar pruebas genéticas y someterse a posibles tratamientos ante un positivo	Argumentación y uso de pruebas
6	4. Rastreado la anemia falciforme	- Analizar datos para extraer conclusiones sobre las relaciones evolutivas entre la anemia falciforme y la malaria	Uso de pruebas
	Actividad de evaluación final	- Evaluar el modelo de expresión de los genes realizado para la anemia falciforme	Modelización (revisión del modelo)

Figura 2. Fases en el diseño de la unidad didáctica en una escala temporal.

Las actividades se secuencian atendiendo a dos criterios: 1) el *nivel de complejidad* de las enfermedades, desde una enfermedad más sencilla, monogénica, la anemia falciforme; a una más compleja, poligénica, como el cáncer de mama; 2) la *progresión en el desempeño de prácticas científicas*: partimos de una actividad que requiere elaborar y transferir el modelo «material» de expresión génica para explicar la anemia falciforme; continuamos con otras tareas (la 2 y la 3) que requieren argumentar acerca de otras enfermedades en base al modelo de expresión de los genes; y terminamos con una tarea (la 4), que requiere aplicar el modelo inicial y establecer de manera argumentada relaciones causales entre dos enfermedades.

La evaluación se divide en: 1) evaluación inicial (diagnóstico), en la que procuramos identificar las ideas de partida del alumnado sobre enfermedades y modelos; 2) evaluación formativa, que atiende a los resultados obtenidos durante el desarrollo de las tareas; 3) evaluación final, que pretende comprobar el aprendizaje adquirido tras la secuencia. Específicamente, la comprensión del modelo de expresión de los genes y su aplicación a un nuevo contexto.

Para poder valorar el aprendizaje de genética y enfermedades en interacción con las prácticas científicas nos centramos en el análisis de dos dimensiones: a) el nivel de adecuación científica y b) el nivel de sofisticación de los modelos y argumentos. Para el análisis de modelos, comprobamos el grado de proximidad con respecto al modelo de referencia escolar; y para el análisis de argumentos, las justificaciones aportadas y el uso de pruebas. En los siguientes párrafos se explican las tareas de la secuencia.

Pre-test. Consiste en un cuestionario de cinco preguntas abiertas (anexo 1) sobre los modelos en ciencias y las enfermedades. Se solicita comparar dos modelos de célula eucariota y explicar cuál de ellos consideran mejor y explicar cómo se construyen los modelos en ciencia. Además, sobre las enfermedades, se solicita elegir entre tres posibles explicaciones sobre la causa de enfermedades y justificar la elección.

1. «Modelizar la expresión de los genes para explicar la anemia falciforme»: la actividad proporciona un *kit expresión de los genes* para que el alumnado elabore el modelo material de expresión génica y lo aplique a la anemia falciforme. La figura 3 muestra los materiales del kit.

La actividad se realizó durante dos sesiones de 50 minutos en grupos. Los docentes guiaron la actividad facilitando la identificación de los elementos del kit cuando los grupos lo requerían.



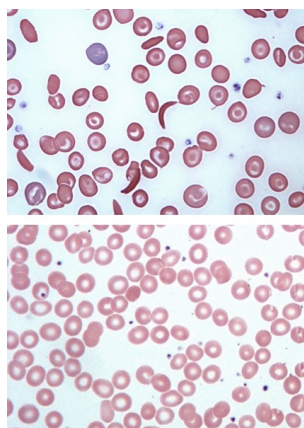
- Diferentes cartulinas que representan: el medio extracelular, el citoplasma y núcleo.
- Varias copias de la secuencia de ADN y de ARN.
- Varias tiras de papel en blanco para traducir la secuencia de aminoácidos.
- Un código genético.
- Un puzzle que representa un fragmento de la proteína.
- Un cromosoma.
- Dos subunidades separadas de un ribosoma.
- Tijeras, pegamento y rotuladores

Figura 3. Materiales del kit «Expresión de los genes».

Como contexto de partida presentamos dos fotografías de muestras de sangre vistas al microscopio óptico (figura 4), de una persona con anemia falciforme y de otra sin anemia, junto con un extracto de una noticia sobre la incorporación de esta enfermedad en las pruebas de cribado neonatal en Galicia.

El objetivo central de la actividad es involucrar al alumnado en la modelización de la expresión de los genes para su comprensión y posterior aplicación.

El enfoque sigue las cuatro etapas de modelización de Justi (2006): 1) *Expresar el modelo mental* (EX); 2) *Construir un modelo* consensuado por el grupo (C); 3) *Comunicar el modelo* consensuado por el grupo (CO); 4) *Evaluar el modelo grupal* (E). Estas etapas podrían alternarse y repetirse a lo largo de la modelización.



“Galicia abandera la prueba del talón”

El Ministerio de Sanidad establece un cribado neonatal básico común a todas las comunidades que incluye siete enfermedades, que ya contempla programa gallego (...)

El programa gallego de cribado cubre siete enfermedades, incluidas ahora en la cartera de servicios del sistema nacional de salud, salvo la anemia falciforme, según la Dirección General de Salud Pública y la Consejería de Sanidad, de la que depende, que asegura que se incluirá en los próximos meses.

Fuente: <http://www.faroderigo.es/sociedad-cultura/2013/12/16/galicia-abandera-prueba-talon/933476.html>

Figura 4. Muestras de sangre y contexto de la tarea 1 «Modelizar la expresión de los genes». Fuente imágenes: <https://www.flickr.com/photos/79017140@N08/16067563838>; <https://www.flickr.com/photos/sicklecellanaemia/16243819197>

- 1) EX: el alumnado expresa qué entiende por expresión de un gen apoyándose del material proporcionado.
- 2) C: cada grupo decide de manera consensuada qué materiales utilizar para la elaboración del modelo. A medida que explican el modelo de expresión en base a los distintos elementos seleccionados, revisan sus modelos iniciales.
- 3) CO: un miembro de cada grupo explica el modelo construido al resto de la clase y lo utiliza para explicar la anemia falciforme.
- 4) E: cada grupo reflexiona sobre su modelo y lo comparan con los modelos presentados por el resto.

La figura 5 muestra un grupo elaborando su modelo.



Figura 5. Grupo A elaborando el modelo material «expresión de los genes».

2. «Muerte súbita, ¿cómo prevenirla?»: se introduce en el tramo final de la última sesión de la actividad 1. Se pregunta al alumnado si han oído hablar de la muerte súbita y se les pide que busquen información sobre esta enfermedad.



Figura 6. Estudiante practicando la RCP.

La primera parte se desarrolla con una profesional de la Cruz Roja y consiste en la participación en un taller sobre reanimación cardiopulmonar (RCP). Los estudiantes practican cómo actuar ante posibles casos de parada cardíaca y realizan simulaciones RCP (figura 6).

En la segunda parte, deben seleccionar información relevante para elaborar un tríptico sobre esta enfermedad que resuma:

a) las causas de la enfermedad; b) su desarrollo a nivel molecular; y c) cómo prevenir y actuar frente un posible caso.

3. «El efecto Jolie»: es una actividad de argumentación para la toma de decisiones en el diagnóstico de enfermedades complejas como el cáncer de mama. La tarea lleva el mismo título que el titular de una noticia del diario de salud del ABC del 22 de septiembre 2014¹. Muestra información sobre la actriz Angelina Jolie, quien se realizó una doble mastectomía por ser portadora de una mutación del gen BRCA1 y datos sobre las diversas variantes de esta enfermedad. Se divide en 3 partes. La primera requiere interpretar los datos de la noticia y sobre el aumento de casos de esta enfermedad. La segunda requiere analizar hipotéticos casos y tomar decisiones argumentadas desde una perspectiva médica para recomendar la aplicación de test genéticos como prueba diagnóstica. La figura 7 muestra los perfiles de personas afectadas proporcionados.

Perfiles de personas

Mujer de 34 años sin antecedentes familiares.

Mujer de 59 años con hermana que ha sufrido cáncer de mama y portadora de gen BRCA 1.

Hombre de 22 años con una tía con cáncer de mama, la familia no se ha hecho pruebas de genotipado.

Hombre de 43 años, madre y tía han sufrido cáncer de mama pero no se han hecho una prueba de genotipado. Quiere que su hija de 7 años se haga la prueba de genotipado.

Figura 7. Perfiles de personas entregados en la tarea 3 «El efecto Jolie».

Los perfiles incluyen hombres y mujeres y personas de diferentes tramos de edad, con y sin antecedentes familiares. La tarea solicita señalar las ventajas e inconvenientes de la realización de estas pruebas, tratando así, aspectos éticos y sociales que influyen en la toma de decisiones, como la libertad individual, los costes económicos y las consecuencias psicológicas y sociales.

4. «Rastreando la anemia falciforme»: Requiere establecer relaciones causales entre dos enfermedades, la anemia falciforme (primera enfermedad trabajada) y la malaria. La actividad involucra a los estudiantes en la evaluación de datos y en el uso de pruebas para argumentar sobre las relaciones evolutivas entre estas dos patologías. Incluye cuatro series de datos, proporcionados de manera escalonada, con el objetivo de que vayan progresivamente argumentando posibles relaciones entre las dos enfermedades. Esta estructura permite que los estudiantes vayan extrayendo conclusiones en base a datos, y que a su vez vayan revisando y evaluando sus conclusiones hasta construir un argumento final. Los datos proporcionados (figura 8) son históricos, genéticos y sociales.

¹Fuente: <http://www.abc.es/salud/noticias/20140919/abci-cancer-mama-efecto-jolie-201409191658.html>

El primer registro que se conserva sobre anemia falciforme es de 1846 de una autopsia de un esclavo fugitivo.

1910, muestra de sangre de Walter Clement Noel, estudiante de odontología en Chicago. Fue la primera vez que se vio la forma alargada de los glóbulos rojos.

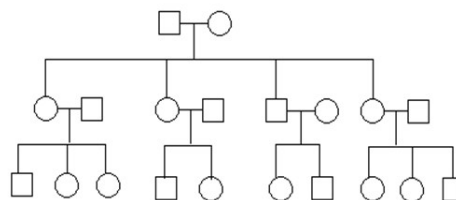


A principios del siglo XX todos los casos detectados de anemia falciforme eran dentro de la comunidad afroamericana.

Conclusiones:

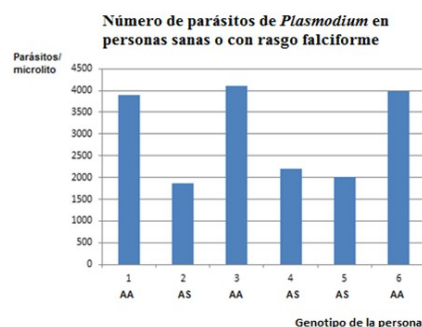
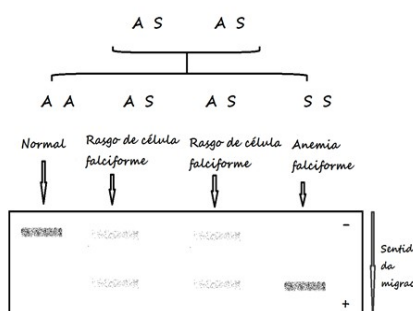
Un matrimonio tiene 4 hijos. El marido tiene anemia falciforme y todos los hijos e hijas presentan el rasgo falciforme. La hija más mayor tiene dos hijas con anemia falciforme y un hijo con rasgo falciforme. La segunda hija tiene un hijo y una hija sin anemia falciforme y la hija más joven tiene: una hija con rasgo falciforme, una hija sana y un hijo con rasgo falciforme. El único hijo del matrimonio tiene un hijo con anemia y una hija sana.

Completa los genotipos y fenotipos en el árbol genealógico.



Conclusiones:

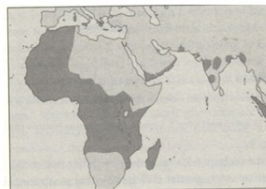
La malaria es una enfermedad que causa la muerte de 700 000 a 2,7 millones de personas. Es producida por parásitos del género *Plasmodium* que infectan el cuerpo de los seres humanos a través de la picadura del mosquito *Anopheles*. El ciclo de vida del parásito es muy complejo y algunas de las fases se desenvuelven en el hígado y en los glóbulos rojos.



Conclusiones:

El bioquímico estadounidense Linus Pauling y su equipo postularon en 1949 que la hemoglobina está mutada y es la que causa la anemia falciforme.

En 1959 se identificó la mutación puntual en la secuencia de ADN que codifica para la proteína de la hemoglobina.



Distribución Anemia Falciforme



Distribución Malaria

Conclusiones:

Figura 8. Datos suministrados en la tarea 4 «Rastreando la anemia falciforme». Mapas extraídos de Morning, A. (2011). The nature of race (pp. 89).

Actividad de evaluación. Consiste en un actividad individual que presenta el caso de una niña con rasgo de anemia falciforme que va a viajar a un país en el que hay riesgo de contraer malaria. Cree que por presentar rasgo falciforme tiene más posibilidades de contraer la malaria. Se solicita valorar este supuesto caso y explicarlo usando el modelo de expresión de los genes elaborado en la primera sesión. El alumnado debe explicar si la niña tiene razón y argumentar su respuesta.

Resultados a destacar de la puesta en práctica de la secuencia

El análisis del pre-test indica que la mayoría presenta una visión distorsionada de lo que es un modelo en ciencias. Los criterios que más aparecen a la hora de valorar un buen modelo, en el caso concreto de una célula eucariota, son: a) la complejidad estructural (inclusión del mayor número de orgánulos posible); b) la similitud con la realidad (que sea el modelo lo más real posible) y c) la claridad, que se identifiquen de manera clara todos los elementos del modelo.

Respecto a la opinión que muestran acerca de las enfermedades, la mayoría relacionan éstas exclusivamente con la genética, sin mencionar la influencia de factores ambientales. Estos resultados se situarían dentro de una visión determinista sobre las enfermedades, como las encontradas en estudios previos de aplicación del modelo de expresión de los genes para explicar desempeños humanos (Puig y Jiménez Aleixandre 2011). Los resultados de la tarea 1, «Modelizar la expresión de los genes» nos permiten concluir que la modelización de la expresión de los genes utilizando el kit ayudó al alumnado a elaborar una explicación sobre los mecanismos que intervienen en la expresión de los genes y a establecer relaciones entre los elementos involucrados (Ageitos y Puig 2016). Además, a la hora de justificar sus modelos, hay que destacar que todos lograron ampliar sus explicaciones sobre la expresión de los genes, lo que muestra la importancia de atender a esta fase de justificación y comunicación del modelo (CO) del modelo de modelización de Justi (2006).

De la tarea 2, «Muerte súbita, ¿cómo prevenirla?», destaca la transferencia de los conocimientos introducidos en el taller de RCP por el alumnado para explicar cómo actuar ante un posible caso de muerte súbita.

En la tarea 3, «El efecto Jolie», el análisis de los informes escritos de los cinco grupos, muestra diferencias entre ellos a la hora de recomendar o no el test genético a los hipotéticos pacientes. Sólo en el caso de la mujer con una hermana portadora de un gen BRCA1 existe coincidencia entre todos los grupos. Los criterios más utilizados para decidir si recomendar o no la prueba de genotipado son: a) antecedentes familiares, todos los grupos tienen en cuenta este factor; b) género del paciente, cuatro de los cinco grupos hacen referencia al género, considerando que en hombres el cáncer de mama es menos frecuente e incluso inexistente; c) edad del paciente, dos de los grupos mencionan la edad como factor a tener en cuenta, considerando que las personas de mayor edad tienen más posibilidades de desarrollarlo que las más jóvenes. Hay que destacar que el análisis preliminar de las intervenciones orales del grupo 1 permite identificar otro tipo de criterio, el económico. Los estudiantes hacen referencia de manera reiterada a este criterio, en concreto al elevado coste económico de la prueba que el paciente tendría que cubrir.

La tarea 4, «Rastreando la anemia falciforme», permite identificar dificultades por parte del alumnado para extraer conclusiones basadas en pruebas. Los estudiantes se centran en describir y explicar los datos aportados pero no todos los grupos son capaces de justificar adecuadamente las conclusiones a las que llegan. El análisis de los informes escritos muestra que el alumnado elabora distintas narrativas en base a datos suministrados y a otros datos

nuevos que incorporan (históricas, evolutivas, etc.). De todos modos, la estructura de la tarea, como cabía esperar, facilita la revisión de los datos a los estudiantes.

En la actividad de evaluación final comprobamos que el alumnado es capaz de explicar su modelo de expresión de los genes, de igual modo que lo hacían en la actividad 1. Además, los estudiantes son capaces de relacionar la malaria con la anemia falciforme en base a datos trabajados en la tarea 4. Estos resultados muestran los beneficios de usar un enfoque que promueva trabajar con pruebas, la argumentación y la modelización en el aprendizaje de genética.

Consideraciones finales

Integrar las prácticas de modelización y de argumentación al aprendizaje de temas de salud relacionados con la genética implica utilizar un enfoque de enseñanza que prime los procesos de razonamiento frente a los resultados. Esta cuestión cobra especial importancia en este trabajo, dado que las enfermedades con componente genético deben ser entendidas para poder tomar decisiones argumentadas y evitar posiciones deterministas. Una de las dificultades a la hora de abordar controversias socio-científicas es que el alumnado ponga mayor atención en algunas dimensiones sobre otras que influyen en el análisis de estos problemas (Sadler 2004). En el caso de esta propuesta, esto sucede de manera notoria en la tarea 3, «El efecto Jolie». Proponemos a los docentes interesados en trabajar esta tarea acotarla más, proporcionando datos científicos que puedan valorar para la toma de decisiones.

El análisis de los conocimientos didácticos para la transferencia significativa de prácticas científicas requiere ser investigado en profundidad para lograr la efectiva implementación de secuencias como ésta.

Agradecimientos

Al proyecto EDU2015-66643-C2-2-P, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, del que forma parte este trabajo. Al alumnado que participó en el estudio.

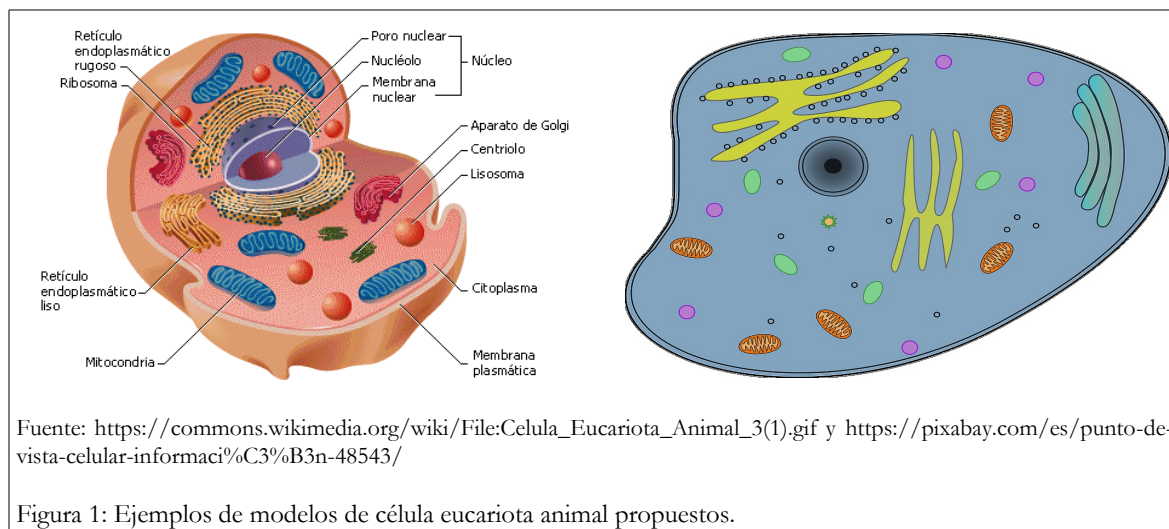
Referencias bibliográficas

- Ageitos Prego, N. y Puig, B. (2016). Modelizar la expresión de los genes para el aprendizaje de enfermedades genéticas en secundaria. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, vol.18 no.1.
- Carracedo A. (2012). Las bases genéticas de la enfermedad. Conferencia impartida en la Cátedra Jorge Juan, Universidade da Coruña, 17 de noviembre de 2012.
- Chavakarti, A. y Little, P. (2003). Nature, nurture and human disease. *Nature*, 421, 412-414.
- Duschl R. A. y Grandy R. E. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: framing the debates. En Duschl, R. A. y Grandy R.E. (Eds.), *Teaching scientific inquiry. Recommendations for research and implementation* (pp. 1-37). Rotterdam: Sense Publisher.
- Jiménez Aleixandre M. P. (2012). Las prácticas científicas en la investigación y en clase de ciencias. Conferencia plenaria. *Actas del XXV Encuentro de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 5-7 de septiembre de 2012.
- Justi R. (2006). La enseñanza de las ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173-184.

- Lewontin R. C., Rose S., Kamin L. J. (2003). *No está en los genes. Racismos, genética e ideología*. Barcelona: Crítica.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) (2014). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Obligatoria y del Bachillerato. BOE, 3, pp. 169-546.
- Morning A. (2011). *The nature of race*. London: University of California Press.
- National Research Council. (NRC) (2012). *A Framework for K–12 Science Education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). PISA 2015 Draft Science Framework.
- Puig B. y Jiménez Aleixandre M. P. (2011). Different music to the same score: Teaching about genes, environment and human performances. En T. D. Sadler (Ed.), *Socio-scientific issues in the classroom: Teaching, learning and research* (pp. 201-239). Dordrecht: Springer.
- Puig, B. y Jiménez Aleixandre M. P. (2015). El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto. *Revista Eureka sobre enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 12 (1), 55-65. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/16924>
- Sadler T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513–536.
- Todd, A. y Kenyon, L. (2015). Empirical Refinements of a Molecular Genetics Learning Progression: The Molecular Constructs. *Journal of Research in Science Teaching*. DOI: 10.1002/tea.21262.
- Venville G., Dawson V. (2010). The impact of an argumentation intervention on Grade 10 students' conceptual understanding of genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (8), p. 952-977.

Anexo 1: Actividades del pretest

Pregunta 1. Estas dos imágenes muestran dos modelos de célula. ¿Cuál piensas que es el más adecuado? Justifica tu respuesta.



Pregunta 2. Los científicos elaboran modelos para explicar fenómenos, hacer predicciones, etc.

2.1 ¿Puedes dar un ejemplo de algún modelo que se utilice para explicar fenómenos en biología?

2.2 ¿Cómo crees que se construyen los modelos en ciencias?

Pregunta 3. En el año 2003 un consorcio internacional formado por científicos de seis países descifró la secuencia completa del genoma humano, el “libro de la vida”. Justo cuando se cumple cumplían 50 años del descubrimiento de la doble hélice de ADN.

3.1 ¿Crees que esto fue importante? ¿Por qué?

3.2 El genoma humano suele definirse como “libro de la vida”, ¿qué quiere decir esto?

4. Escoge la opción con la que estés más de acuerdo y justifica tu elección:

A) Hay enfermedades genéticas y enfermedades infecciosas. Las primeras se deben a los genes y las segundas son causadas por organismos patógenos.

B) En el desarrollo de enfermedades genéticas afectan tanto los genes como el ambiente.

C) Una enfermedad tiene los mismos efectos en todas las personas.

5. Existen características fenotípicas humanas como el color de la piel que son resultado de la interacción entre genes y factores ambientales. ¿Crees que esto puede ocurrir también con las enfermedades genéticas? ¿Por qué?